

(C-30) 喫煙場所における換気装置と空気清浄装置の効果に関する研究
Study on the effect of ventilation and air purifier in a smoking site

○ 国安 修、八太 豊、香川 雅彦、高橋 大介 (ミドリ安全㈱)

Abstract

Since the Health Promotion Law was enforced in May of 2003, prevention against passive smoking has been needed. The "Guidelines for Measures on Smoking at Work" was revised in May of 2003. We tested the concentration distribution of smoke particulate matter and carbon monoxide in and outside a smoking room varying the parameter such as ventilation, airpurification, layout of airpurifier or ventilator. We have found the most desirable operational conditions of the system of ventilation and airpurification for adapting to the Guidelines.

Key Word

受動喫煙 Passive smoking 空間分煙 Space smoke separation 喫煙室 Smoking room 空気清浄装置 Air purifier 換気 Ventilation

1.はじめに

平成15年5月、健康増進法¹⁾が施行され、受動喫煙の防止が努力義務化された。併行して同年5月改正「職場における喫煙対策のためのガイドライン」²⁾が発表され、受動喫煙の防止対策の改善が策定された。

新ガイドラインへの対応のため、一般的な喫煙室における換気量、空気清浄装置の有無、換気装置、空気清浄装置等のレイアウトの条件を種々変更させて喫煙室内・外タバコ煙粒子・一酸化炭素(CO)濃度分布等を測定し、新ガイドラインの基準を満足させる最も適正な喫煙対策条件を考察した。

さらに換気装置による気温減衰についても測定し、考察した。

2.測定方法

①喫煙室は換気装置、空気清浄装置が設置されている一般的な喫煙室を想定したレイアウトが airflow の上流側から、喫煙室出入口、喫煙場所(チャンパ・センカ; 灰皿又は空気清浄装置)、換気装置の順とするチャンパーを使用した。(Fig.1) チャンパ・出入口は、喫煙室内へ向かう airflow の風速を 0.2m/s 以上にするため、換気風量が 50m³/min の場合; 全面開口, 4.7m³/min の場合; カーテン付きとした。(Fig.2)

②空気清浄装置は、形式; 上方吸込, 下方吹出, 風量; 15m³/min, 捕集効率; 86% at PAO.0.3μm, 使用人数; 4人(Fig.3)

③換気装置; 天井換気扇(シロッコファン), 窓換気扇(軸流ファン)

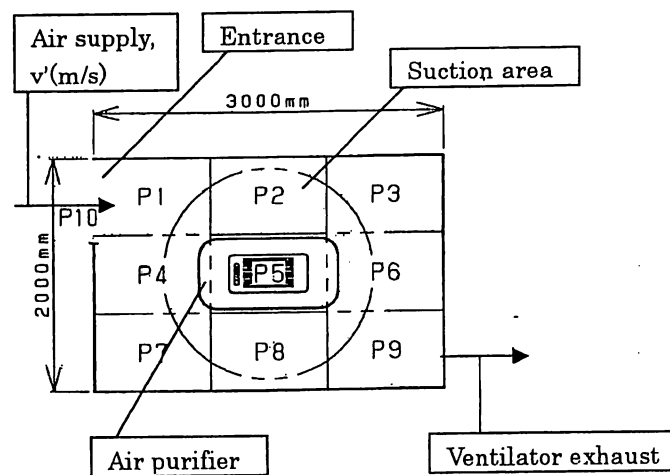
④タバコ煙発生条件⁴⁾; マイルセフンを 45cc シリジ⁵⁾に取り付け、30秒おきに1回シリジにて吸引・吐出を10回(5分間⁶⁾)

行った。発生は、6本連続(30分間)発生させた。

⑤タバコ煙発生場所; 空気清浄装置の吸込範囲内又は外で4箇所が発生させた。タバコ煙は、チャンパ・センカ方向(灰皿, 空気清浄装置吸込口方向)に吐出した。

⑥測定点; チャンパ・内で、等分割9箇所、チャンパ・外出入口境界近傍1箇所の測定点高さ1500, 1000, 550mmで測定した。(Fig.1)

⑦測定器; 粉塵濃度をデジタル粉塵計, P-5H2, CO濃度を定電位電解式測定器, CM-5Cにより測定した。

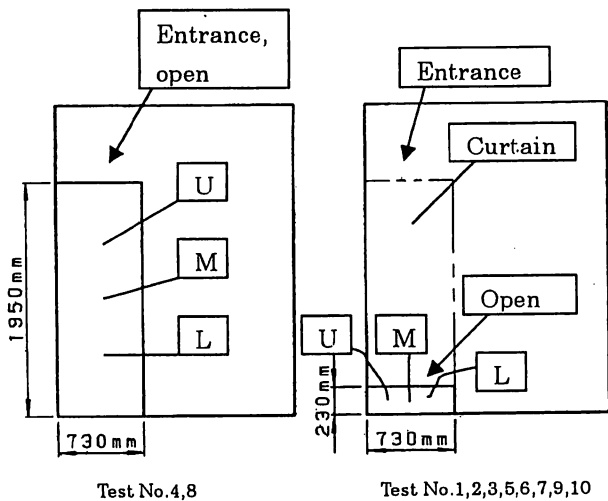


P1~P10; P-5H2, CM-5C, Measuring points

Fig.1 Plane view of test chamber
(Size; 3000×2000×2600mm, Volume; 15.6m³)

Osamu Kuniyasu, Yutaka Hatta, Masahiko Kagawa,

Daisuke Takahasi (Midori Anzen Co., Ltd.)



Test No. 4,8 Test No. 1,2,3,5,6,7,9,10
U,M,L; Suction air velocity (v') measuring points

Fig.2 Side view of test chamber

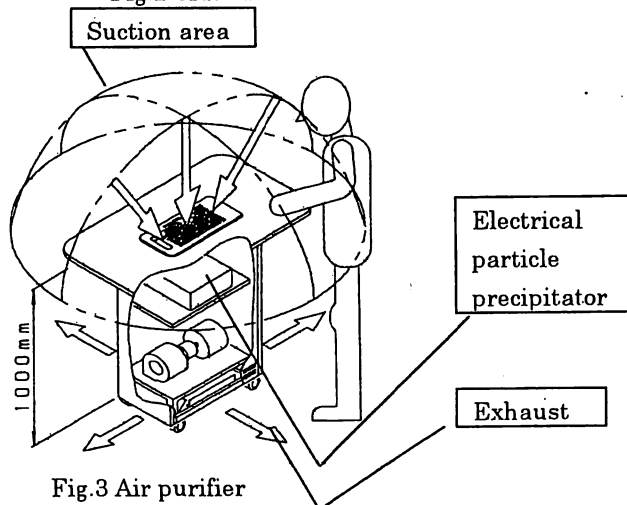


Fig.3 Air purifier

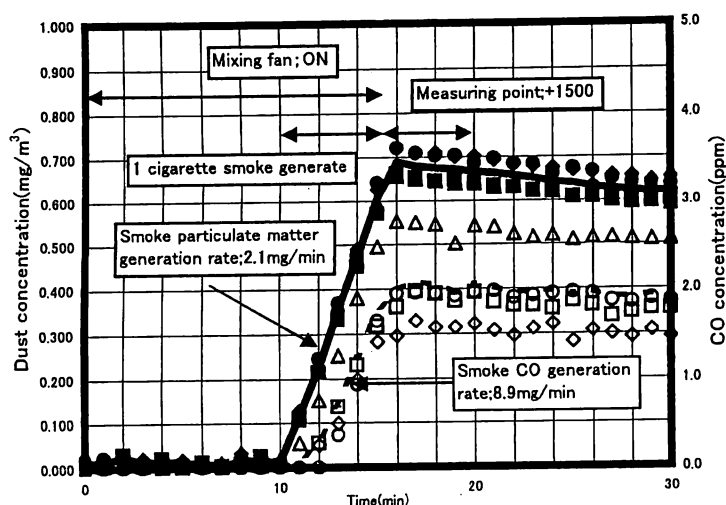


Fig.4 Cigarette smoke particulate matter, carbon monoxide generation rate tested in the airtight chamber of 15.6m^3 shown in fig.1,2

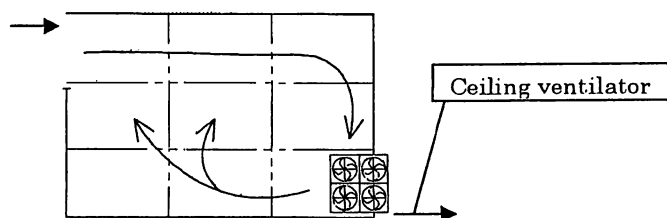


Fig.5 Air flow in test chamber in the case, test No.1

3. テスト条件と結果及び考察

(I) タバコ煙発生量

前述のタバコ煙発生条件にて1本で発生させた場合の密閉チャンパ-内濃度測定結果を Fig.4 に示す。濃度上昇の傾きから算出したタバコ煙粒子発生量は $2.1\text{mg}/\text{min}$ 、タバコ煙 CO 発生量は $8.9\text{mg}/\text{min}$ であり、文献値^{5), 3)} とよく符合していた。

(II) テスト条件; Table1 に示す。

(III) テスト結果; Table2 に示す。

測定値は、Fig.16 に示すように 20 分~40 分までの飽和値の「時間平均値」(Saturated value, average) とし、P1~P9 の時間平均値の平均値を「平均室内濃度」(Average value of P1~P9) とする。

i. タバコ煙粒子・CO 濃度分布 (Table2)

A. 換気装置だけの場合

a. 天井換気装置の場合 (Test No. 1, 3)

タバコ煙発生場所; 4 箇所、換気量; $50\text{m}^3/\text{min}$ のとき、水平分布 9 点、垂直分布 3 点計 27 点測定した結果、27 点の粉塵飽和濃度平均値; $0.17\text{mg}/\text{m}^3$ ($0.03\sim 0.44$), CO 飽和濃度平均値; 0.3 ($0.0\sim 1.5$) ppm であり、CO 濃度は基準値の 10ppm を十分満足していたが、粉塵濃度は基準値の $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ の近傍であった。粉塵濃度の水平分布については、測定ポイント, Fig.1, P4, P5, P8 で濃度が高かった。これは Fig.5 のような気流ができていたためであった。垂直分布は、タバコ煙が上昇するため、高さが高いほど濃度が高かった。

換気量が $4.7\text{m}^3/\text{min}$ のとき、CO 濃度は基準値以下の 5.1ppm であったが、粉塵濃度が $2.7\text{mg}/\text{m}^3$ であり基準値を大幅に超えた。

b. 窓換気装置の場合 (Test No. 2)

換気量; $50\text{m}^3/\text{min}$ においては天井換気装置の場合と殆ど同様であった。

B. 換気装置、空気清浄装置の併用の場合

a. 発煙場所

(1) 吸込範囲外でタバコ煙発生の場合

測定結果を Test No. 4, 5 に示す。CO 濃度は 6.6 ($4.7\sim 9.4$), 5.5 ($3.7\sim 7.2$) ppm であり基準値を満足していたが、粉塵濃度は 0.32 ($0.23\sim 0.48$), 0.26 ($0.23\sim 0.30$) mg/m^3 であり基準値の約 2 倍であった。

(2) 吸込範囲内でタバコ煙発生の場合

測定結果を Test No. 6, 7 に示す。水平分布 8 点、垂直分布 3 点計 24 点測定した。24 点の粉塵飽和濃度平均値は 0.16 ($0.12\sim 0.23$), 0.13 ($0.10\sim 0.14$) mg/m^3 , CO 飽和濃度平均値は 7.2 ($3.0\sim 10$), 6.5 ($3.8\sim 9.0$) ppm であり、CO 濃度は基準値を満足しており、粉塵濃度は基準値の近傍であった。吸込範囲外で発煙のときと比較すると、CO 濃度は同様であったが、粉塵濃度が約 1/2 に低下した。タバコ煙が、拡散する前に空気清浄装置に全て吸い込まれるためである。

換気装置レイアウトについては、換気装置位置が天井中央の場合 (Test No. 5, 7) が天井コナの場合 (Test No. 4, 6) より粉

塵, COとも濃度が低かった。天井センタ-の場合、換気口位置が発煙場所, 空気清浄装置吹出口に天井コ-ナの場合より近いためである。換気扇が窓用で位置がコ-ナ(TestNo.8)の場合、粉塵飽和濃度平均値は 0.12(0.10~0.13)mg/m³, CO 飽和濃度平均値は 6.3(3.4~11)ppm であり、天井用のとき(TestNo.6)と比較すると、粉塵, CO 濃度も減少し基準値を下回ったが、CO 濃度分布については、換気扇, 出入口から遠い Fig.1, P7 の測定点で 11ppm であり、高かった。

空気清浄装置吹出風向については、換気扇が天井用で位置がコ-ナ, 空気清浄装置吹出風が換気扇方向 1 方向集中(TestNo.9)の場合、粉塵飽和濃度平均値は 0.11(0.09~0.13)mg/m³, CO 飽和濃度平均値は 6.0(4.4~8.3)ppm であり、空気清浄装置吹出風が 4 方向 (TestNo.6) の場合と比較すると、粉塵, CO 濃度も減少し、基準値を下回った。換気扇が窓用で空気清浄装置吹出風が換気扇方向 1 方向集中(TestNo.10)の場合、粉塵飽和濃度平均値は 0.10(0.09~0.11)mg/m³, CO 飽和濃度平均値は 6.7(4.2~9.9)ppm であり、同様であった。空気清浄装置吹出風が拡散する前に直接換気装置へ吸い込まれる率が増加するためである。

空気清浄装置を運転した場合、チャンバ-内濃度分布は殆ど均一であった(TestNo.6~10)。出入口における喫煙室内へ向かう気流の風速は 0.2m/s 以上であり、タバコ煙のリ-クはなかった。(Table2, P10)

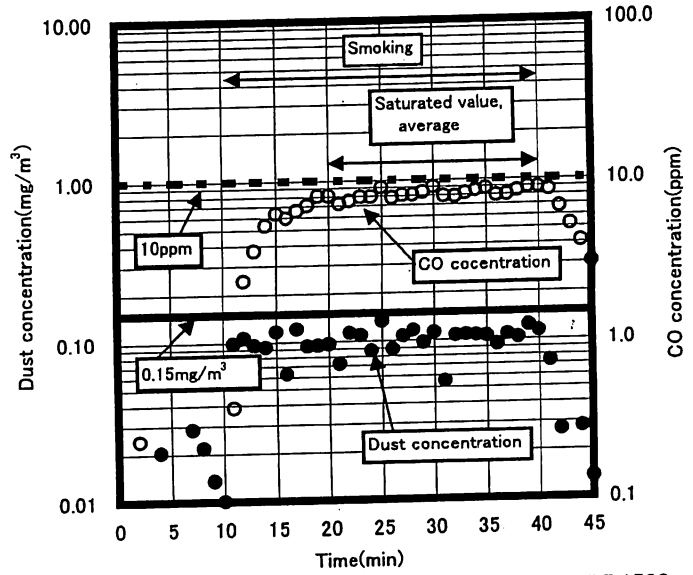


Fig.16 Example of measuring; Test No.7, measuring point; P7, 1500mm

Table 1 Test conditions

Test No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Layout	Ventilator	Ceiling	Window	Ceiling			Window			Ceiling	Window	
	Smoking position	Fig.6	Fig.7	Fig.8	Outside the suction area of AP.	Within the suction area of AP.						
	Direction of exhaust of AP	-			Fig.9	Fig.10	Fig.11	Fig.12	Fig.13	Fig.14	Fig.15	
Ventilator	Air flow rate: Q'(m ³ /min)	12.5 × 4=50	17 × 3=51	4.7								
	Air purifier; AP.	Not any				ON						
Entrance	Open demensions	Height	1570	1950	730							
		Width										
	Suction air velocity; v'(m/s)	U	0.87	0.61	0.38	0.37	0.44	0.37	0.44	0.61	0.39	0.49(0.2~0.7)
		M	0.69	0.61	0.4	0.39	0.45	0.39	0.45	0.61	0.44	0.45(0.2~0.7)
		L	0.75	0.65	0.42	0.41	0.38	0.41	0.38	0.65	0.46	0.48(0.2~0.7)

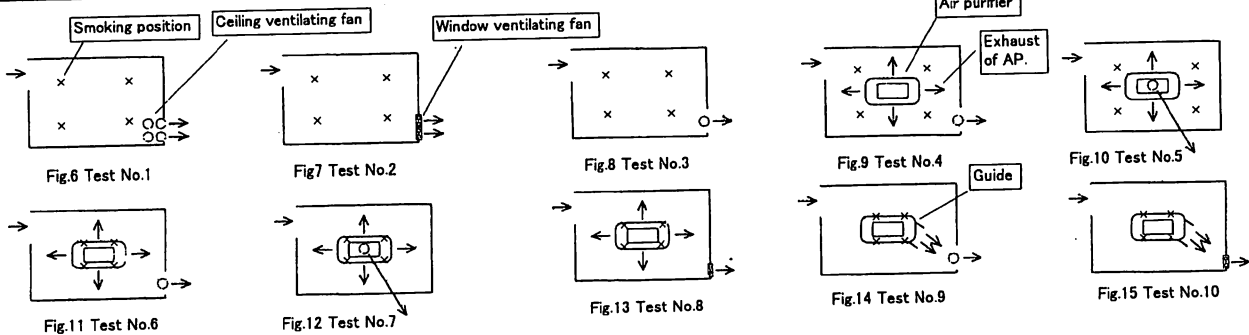


Table2 Dust, carbon monoxide concentration distribution in test chamber

Test No.	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10			
	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)	Dust (mg/m ³)	CO (ppm)		
Saturated value, average	Average value of P1~P9		0.21	0.5	0.26	1.0	2.7	5.1	0.32	6.6	0.26	5.5	0.19	7.5	0.13	6.7	0.12	6.3	0.11	6.0	0.10	6.7
	1500h		0.18	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	7.7	0.13	6.2	-	-	-	-	-	-
	1000h		0.18	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	7.7	0.13	6.2	-	-	-	-	-	-
	550h		0.13	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	6.3	0.14	6.6	-	-	-	-	-	-
	P1		0.05	0.0	0.04	0.2	-	-	0.34	5.2	0.26	4.9	0.18	5.7	0.14	5.4	0.13	3.4	0.11	4.5	0.11	5.5
	P2		0.18	0.2	0.43	0.9	3.6	5.6	0.39	6.1	0.30	3.7	0.23	6.7	0.12	5.1	0.12	4.7	0.13	4.9	0.10	6.1
	P3		0.08	0.0	0.12	0.6	-	-	0.24	4.7	0.23	4.5	0.19	6.0	0.12	5.1	0.13	7.2	0.11	4.4	0.11	4.2
	P4		0.34	1.5	0.25	1.5	-	-	0.33	7.6	0.23	7.0	0.18	8.8	0.11	7.8	0.11	5.3	0.09	7.4	0.09	8.6
	P5		0.44	0.8	0.76	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	P6		0.15	0.1	0.18	0.6	2.9	5.5	0.26	6.4	0.29	4.8	0.20	7.0	0.12	6.6	0.12	5.8	0.10	5.7	0.09	7.5
P7		0.13	0.5	0.13	1.2	-	-	0.23	7.3	0.26	7.2	0.18	8.8	0.11	8.2	0.11	11	0.10	7.4	0.09	6.6	
P8		0.44	1.3	0.32	1.4	1.5	4.3	0.48	9.4	0.27	6.3	0.18	9.4	0.12	8.8	0.12	7.5	0.11	8.3	0.09	9.9	
P9		0.12	0.0	0.11	0.7	-	-	0.27	6.0	0.23	5.7	0.16	7.7	0.14	6.9	0.10	7.2	0.10	5.7	0.10	5.0	
P10		0.03	0.0	0.03	0.0	0.05	0.1	0.02	0.0	0.02	0.0	0.04	0.0	0.01	0.0	0.03	0.1	0.02	0.0	0.02	0.1	

Table 3 A-weighted Sound Pressure Level(dB)

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Under ventilator	61	53	40	51	-	51	-	-	52	52
Center of the chamber	58	47	39	52	-	52	-	-	53	53
Baoundary	56	44	43	45	-	45	-	-	43	43
Outside the chamber	48	41	43	44	-	44	-	-	41	41
Dark(BG.)*1	40	39	40	40	-	40	-	-	39	39

*1. BG. Background

ii.換気による室内温度減衰

A.テスト装置(Fig.17)

Fig.17において、換気以外に熱の出入がないと仮定する。

$$Q' \times Cp \times To \times \Delta t = Q' \times Cp \times Ti \times \Delta t = V \times Cp \times \Delta Ti$$

Q' :換気量(m^3/min), Cp :空気比熱, $0.29(kcal/m^3 \cdot ^\circ C)$, V :チャンパ[®]容積, $150(m^3)$, Ti :チャンパ[®]内気温($^\circ C$), To :屋外(給)気温($^\circ C$), t :時間(min), $t=0$ (min) のとき, $Ti=Tio$

$$Ti - To = (Tio - To) \times \exp(-Q' \times t / V) \dots \textcircled{1}$$

$$\text{熱損失} ; Q' \times Cp \times \int (Ti - To) dt \dots \textcircled{2}$$

B.テスト方法

- ・全体の気温を $20 \sim 25^\circ C$ へ昇温する。
- ・昇温後約 10 分放置し、全体の気温が殆ど均一、定常であることを確認する。

・確認後換気扇を運転し、温度分布、温度減衰を測定した。気温測定点高さは、No.2,3,5,7,8 が $1500mm$, No.4,6 が $500mm$ である。

C.テスト結果

No.2~8 の測定値の平均の気温減衰曲線と式①による近似式を Fig.18 に示す。

・エアコン停止後 1 時間の熱損失は、近似式より、 $50m^3/min$ のとき、 $50 \times 0.29 \times \int 14 \times e^{-0.0238t} dt = 6484kcal = 7.54kW \cdot h$

$4.7m^3/min$ のとき、 $4.7 \times 0.29 \times \int 11.5 \times e^{-0.0046t} dt = 822kcal = 0.956kW \cdot h$

*:Temperature measuring points

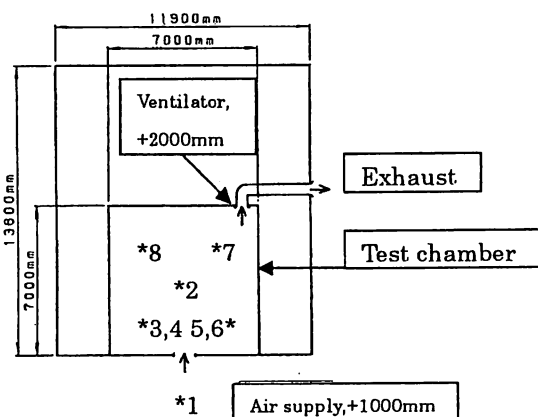


Fig.17 Test chamber(Height:3000mm)

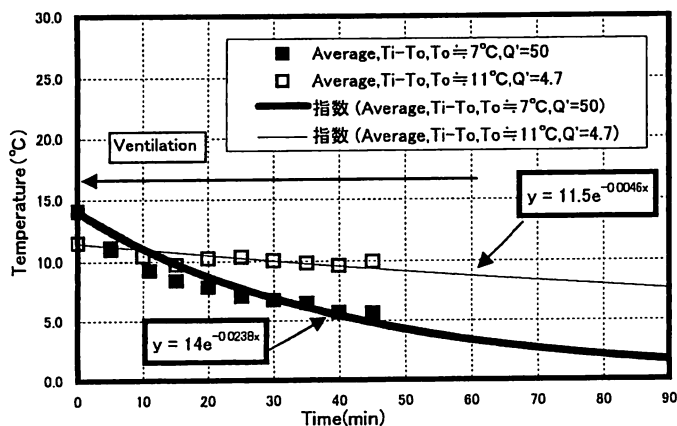


Fig.18 Temperature decrease by ventilation in chamber (Ventilation rate; $Q'=50, 4.7m^3/min$)

4. まとめ

(1) 喫煙室からのタバコ煙のリーク

全てのテストにおいて、出入口における喫煙室内へ向かう気流の風速 $> 0.2m/s$ であり、室外粉塵・CO 濃度が上昇せず、リークがなかった。

(2) 換気装置だけの喫煙室の場合

天井換気扇、窓換気扇のいずれの場合も、タバコ煙を 4 箇所連続発生させた場合、換気量が $50m^3/min$ のとき、粉塵飽和濃度平均値が基準値の $0.15mg/m^3$ の近傍であり、CO 飽和濃度平均値は基準値の 10ppm を満足した。

(3) 換気装置と空気清浄装置の併用の喫煙室の場合

タバコ煙:4 箇所連続発生, 換気量: $4.7m^3/min$ の場合

①タバコ煙発生場所

空気清浄装置の吸込範囲内でタバコ煙発生の場合が、吸込範囲外の場合より、CO 濃度は同等であったが、粉塵濃度が約 1/2 に低下し、良好であった。

②換気装置レイアウト

a.換気装置位置に関しては、吸込範囲内でタバコ煙発生の場合、天井換気扇で、センターのときがコーナーのときより粉塵、CO 濃度とも良好であった。

b.換気装置位置がコーナーでも窓換気の場合、天井換気の場合より粉塵、CO 濃度ともやや良好であった。

③空気清浄装置吹出風方向

1 方向で換気口へ集中させたテスト No.9,10 の場合、換気装置の位置、種類によらず 4 方向の場合より粉塵、CO 濃度とも低下し、最も良好であった。

(4) 温度減衰

喫煙室容積, $150m^3$ の場合、エアコン停止後 1 時間の熱損失は、換気量が $50m^3/min$ の場合 $7.54kW \cdot h$, 換気量が $4.7m^3/min$ の場合 $0.956kW \cdot h$ であった。

(参考文献)

- 1) 健康増進法第 2 節第 25 条, 平成 15 年 5 月 1 日施行
- 2) 厚生労働省, 職場における喫煙対策のためのガイドラインについて, 平成 15 年 5 月 9 日
- 3) 厚生労働省, 分煙効果判定基準策定検討会報告書, 平成 14 年 6 月
- 4) 平成 11-12 年度 タバコ煙の成分分析について(概要), 厚生労働省ホームページ
- 5) 中央労働災害防止協会 中央快適職場推進センター, 平成 13 年度 職場における分煙対策等推進検討委員会報告書, 平成 14 年 3 月
- 6) 国安ら, 第 21 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, (2003)293~296